

К РАСЧЕТУ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ НА БАЗЕ ЛИНЕЙНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Исангулова А.Б., Маркин Н.Е., Коняев А.Ю.

УрФУ

E-mail: decan@etf.ustu.ru

Значительные резервы энерго- и ресурсосбережения кроются в совершенствовании вспомогательных технологий вторичной цветной металлургии. В частности, широкое применение при переработке металлосодержащих отходов и при сортировке лома цветных металлов могут находить электродинамические сепараторы, работающие по принципу линейных асинхронных двигателей (ЛАД). Извлекаемые из смесей материалов немагнитные проводящие тела играют при этом роль вторичного элемента ЛАД.

Конструкции сепараторов могут отличаться способом подачи сепарируемых материалов в рабочую зону и отвода из нее продуктов разделения. Наиболее часто применяются электродинамические сепараторы, в которых сепарируемые материалы подаются в рабочую зону по ленте конвейера. Линейные индукторы при этом устанавливаются под (над) лентой таким образом, что извлекаемые проводящие предметы перемещаются в поперечном направлении и собираются сбоку от конвейера. Такая конструкция позволяет встраивать сепаратор в готовые технологические линии и предпочтительна при разделении непроводящей и проводящей фракций. Первая остается на конвейере, вторая сбрасывается с него. В ряде случаев более удобна конструкция сепаратора с подачей материала по наклонной плоскости. В такой установке появляются дополнительные возможности по регулированию процесса подачи материала (выравнивание материала, уменьшение толщины слоя и т.п.) и выбору конструктивных параметров (размеры плоскости подачи, угол ее наклона, размеры индукторов и др.).

В реальных процессах сепарации на извлекаемые проводящие тела помимо электромагнитных сил действуют конкурирующие механические силы (гравитации, трения, динамического сопротивления среды и др.) величина и направление которых зависят от конструкции электродинамического сепаратора и способа подачи материала. На стадии проектирования сепараторов представляет интерес определение требуемых удельных электромагнитных усилий с учетом указанных конкурирующих сил, геометрических размеров и механических параметров устройств.

В общем случае уравнение динамики движения извлекаемого проводящего тела имеет вид:

$$\bar{F}_{\text{эм}}(V) - \bar{F}_{\text{сопр}}(V) = m_2 \frac{d\bar{V}}{dt}. \quad (1)$$

Входящая в (1) сила $F_{\text{сопр}}$ является равнодействующей всех механических конкурирующих сил. В общем случае $F_{\text{эм}}$ и $F_{\text{сопр}}$ зависят от скорости, и дифференциальное уравнение (1) является нелинейным. Его решение, а значит опре-

деление параметров движения извлекаемых частиц, возможно лишь в простейших случаях. В то же время на практике конкурирующие механические силы зависят от многих случайных величин и точное решение уравнения (1) на стадии проектирования теряет смысл. Поэтому рассмотрим решение задачи при следующих упрощающих допущениях:

- скорость перемещения частиц много меньше синхронной скорости бегущего магнитного поля ($V_2 \ll V_0$), поэтому электромагнитная сила при движении частиц может считаться постоянной, равной пусковому усилию;
- сила сопротивления не зависит от скорости (например, сила трения частиц о поверхность подающей ленты конвейера).

При таких допущениях сила, действующая на извлекаемую частицу, постоянна, частица совершает равноускоренное движение, а уравнение (1) принимает вид:

$$F_{эм} - F_{сопр} = m_2 \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (2)$$

где m_2 – масса извлекаемой проводящей частицы.

Задача о расчете электромагнитной силы, действующей на проводящее тело ограниченных размеров, решается предварительно. В УрФУ разработана математическая модель и методика такого расчета (Электротехника. 1995. № 10; Электротехника. 1998. № 5 и др.). При заданных значениях $F_{эм}$ уравнение (2) решается относительно механических параметров установки. Возможно и обратная постановка задачи: при заданных механических параметрах установок (размеры, коэффициент трения и др.) находится электромагнитное усилие, необходимое для сепарации.

Например, для случая подачи материала по ленте конвейера и установке индукторов под (над) лентой получено выражение вида:

$$F_m = \frac{2 \cdot B_k \cdot V_k^2}{L_u^2} + k_{mp} \cdot g, \quad (3)$$

где $F_m = F / m_2$ – удельное электромагнитное усилие или начальное ускорение (Н/кг или м/с²); B_k , V_k – ширина ленты и скорость конвейера; L_u – ширина линейного индуктора; k_{mp} – коэффициент трения частиц о ленту; g – ускорение земного притяжения.

При подаче материала по наклонной плоскости варьируются такие параметры, как: угол наклона плоскости подачи (α), расстояние, проходимое пластиной до индуктора (L_0), ширина индуктора (L_u), расстояние от индуктора до приемников продуктов разделения (L_n), при подаче материала на наклонную плоскость с конвейера учитывается его скорость (V_k). Одним из важных параметров определяющих характеристики установки является коэффициент трения ($k_{тр}$), изменяя величину которого можно учесть не только свойства самой поверхности, но и противодействие других механических сил. Величина сил со-

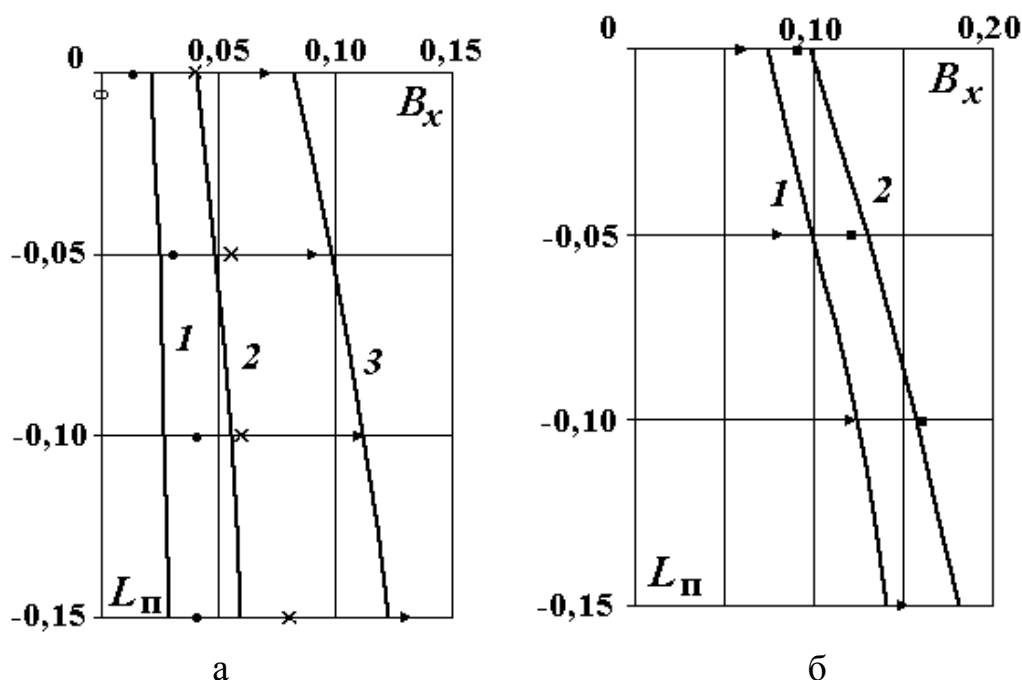
противления и значение коэффициента трения могут определяться экспериментально и задаваться в техническом задании на проектирование.

Для такого случая авторы получили выражения, связывающие удельное электромагнитное усилие с указанными выше механическими параметрами установки, а также с величинами поперечного перемещения извлекаемых проводящих предметов B_u (под индуктором) и B_n (за индуктором), которые определяют траекторию движения проводящих предметов по плоскости:

$$B_u = (F_m - k_{mp} \cdot g \cdot \cos \alpha) \cdot \frac{t_u^2}{2}, \quad (4)$$

$$B_n = [F_m \cdot t_u - g \cdot k_{mp} \cdot (t_u + t_n) \cdot \cos \alpha] \cdot \frac{t_n}{2}. \quad (5)$$

В (1) – (2) входят значения времени пребывания извлекаемых проводящих предметов под индуктором (t_u) и на плоскости за индуктором (t_n), определяемые по заданным значениям механических параметров установки (L_0 , L_n , L_n , α , $k_{тр}$, V_k). Апробация полученных выражений при расчетах экспериментальных установок показала приемлемые результаты. На рис. 1 для опытной установки приведены расчетные (линии) и экспериментальные (точки) траектории движения извлекаемых проводящих пластин разной формы и размеров: квадратных (1 – сторона квадрата 10 мм, 2 – 15 мм, 3 – 20 мм) и круглых (1 – диаметр 25 мм, 2 – 45 мм).



Траектории движения алюминиевых пластин по наклонной плоскости

Разработанные методики позволяют выполнять выбор расчетных параметров установок, обеспечивающих необходимые энергоэффективность и технологические показатели.